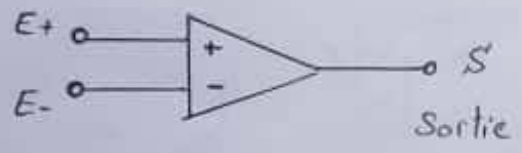
napitre 4 : Amplificateurs Opérationels

I. Introduction :

L'OP est un élément électrique où sont logés plusieurs transistors associés sur une surface de qlq milimetres carrés.

• <u>representation symbolique</u> :

E. non Inverseuse

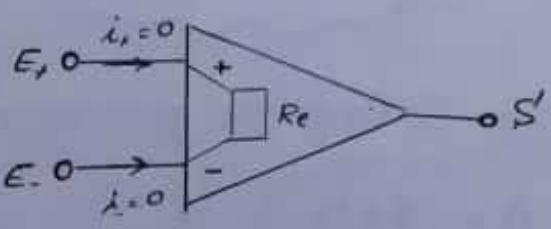


Entrée Inverseuse

• les bornes de polarisation ou d'alimentation ainsi que les bornes de réglages ne sont pas representées.

II. Fonctionnement :

1. Courant d'entrée :



• À l'intérieur du circuit, tout se passe comme s'il existait une très grande résistance entre les deux entrées inverseuses et non inverseuses. cette resistance est supposée très grande ($\to +\infty$) ce qui entraine un courant nul entre les entrées du circuit.

2. Caractéristiques du transfert :

• on impose à E_+ et E_- deux tensions différentes mais tjrs inférieurs à la val. absolue de la tension de polarisation en vue d'éviter la destruction du circuit.

• $V_d = E_+ - E_-$ est appelée la tension différentielle entre les entrées.

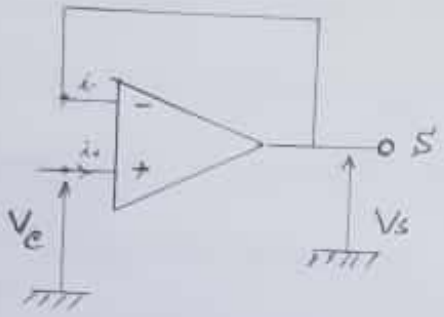
• En fonctionnement linéaire, $V_s = A \cdot V_d$, avec A le coefficient de proportionnalité entre V_s et V_d.

(En pratique A est très élevé d'ordre 10^5)

Scanné avec CamScanner

III. Applications :

A. Montage Suiveur :

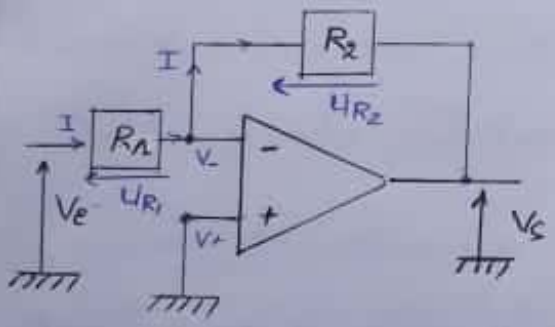


ona : $\begin{cases} i_+ = i_- = 0 \\ V^+ - V^- = 0 \end{cases}$

et $V^+ = Ve$ et $V^- = Vs$

$\Rightarrow$ $\boxed{Vs = Ve}$ $\boxed{A = 1}$

2. Montage Inverseur :



$\begin{cases} V_+ = V_- \\ i_+ = i_- = 0 \end{cases}$ | $\begin{cases} U_{R_2} = R_2 I \\ U_{R_A} = R_A I \end{cases}$

ona :

$\begin{cases} V^- = U_{R_2} + Vs \text{ car } U_{R_2} = V^- - Vs \\ \text{et } U_{R_A} = Ve - V^- \end{cases}$

donc : $I = \dfrac{V^- - Vs}{R_2} = \dfrac{Ve - V^-}{R_A}$

avec $\underline{V^- = 0}$

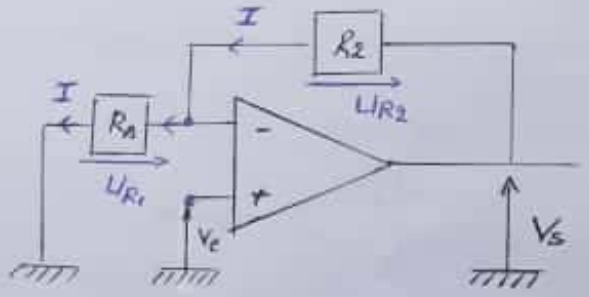
. Donc : $\dfrac{Ve}{R_A} = \dfrac{-Vs}{R_2}$

$\Rightarrow$ $\boxed{Vs = \dfrac{-R_2}{R_A} Ve}$

. Donc le gain en tension :

$\boxed{A = \dfrac{-R_2}{R_A}}$

3. Montage Non. Inverseur :



$\begin{cases} V^+ = V^- = Ve \\ i_+ = i_- = 0 \end{cases}$ $\begin{cases} U_{R_2} = V_S - V^- = V_S - V_e = R_2 I \\ U_{R_A} = Ve = R_A \cdot I \end{cases}$

$\Rightarrow$ $I = \dfrac{Ve}{R_A} = \dfrac{Vs - Ve}{R_2}$

Donc : $\dfrac{Ve}{R_A} + \dfrac{Ve}{R_2} = \dfrac{Vs}{R_2}$

$\Rightarrow$ $Ve\left(\dfrac{1}{R_A} + \dfrac{1}{R_2}\right) = \dfrac{Vs}{R_2}$

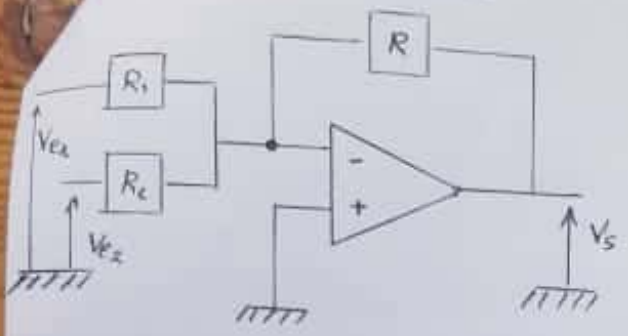
$\Rightarrow$ $\boxed{Vs = Ve\left(1 + \dfrac{R_2}{R_A}\right)}$

. Donc le Coeff. de gain est :

$\boxed{A = 1 + \dfrac{R_2}{R_1}}$

Scanné avec CamScanner

3. Montage Sommateur



puisque $V^+ = 0 \Rightarrow V^- = V^+ = 0$.

- Calculons V^- en utilisant le th. de Millman :

$$V^- = \frac{\frac{Ve_1}{R_1} + \frac{Ve_2}{R_2} + \frac{V_s}{R}}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R}} = 0$$

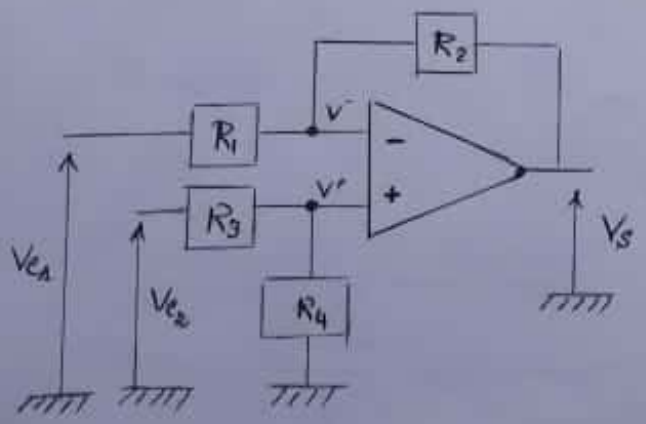
$$\Rightarrow \frac{Ve_1}{R_1} + \frac{Ve_2}{R_2} + \frac{V_s}{R} = 0$$

$$V_s = -R\left(\frac{Ve_1}{R_1} + \frac{Ve_2}{R_2}\right)$$

- Si $R = R_1 = R_2$:

$$V_s = -(Ve_1 + Ve_2)$$

4. Montage différentiel (Soustracteur)



$V^+ = V^-$ (on ne peut pas dire qu'ils sont nuls, parce qu'on a appliquée une tension d'entrée)

+ Calculons V^- et V^+ :

$$V^- = \frac{\frac{Ve_1}{R_1} + \frac{V_s}{R_2}}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}} = \frac{Ve_1 R_2 + V_s R_1}{R_1 + R_2}$$

$$V^+ = \frac{\frac{Ve_2}{R_3} + \frac{0}{R_4}}{\frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4}} = \frac{Ve_2 \cdot R_4}{R_3 + R_4}$$

Donc :

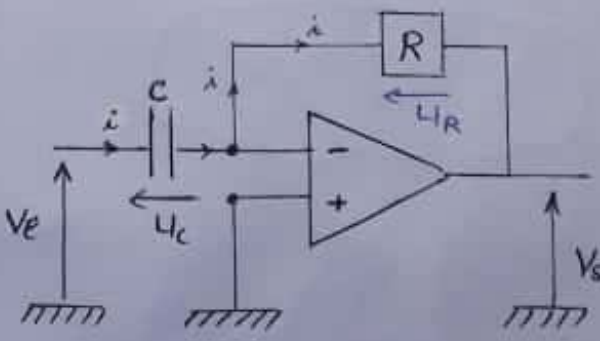
$$\frac{Ve_1 R_2 + V_s R_1}{R_1 + R_2} = \frac{Ve_2 R_4}{R_3 + R_4}$$

$$\frac{V_s \cdot R_1}{R_1 + R_2} = \frac{Ve_2 R_4}{R_3 + R_4} - \frac{Ve_1 R_2}{R_1 + R_2}$$

Alors :

$$V_s = \left(\frac{R_1 + R_2}{R_1}\right)\left[\frac{Ve_2 R_4}{R_3 + R_4} - \frac{Ve_1 R_2}{R_1 + R_2}\right]$$

5. Montage Dérivateur :



$V^+ = V^- = 0$

$U_c = V_e - V^- = V_e$; $i = C \cdot \frac{du_c}{dt}$

Scanné avec CamScanner

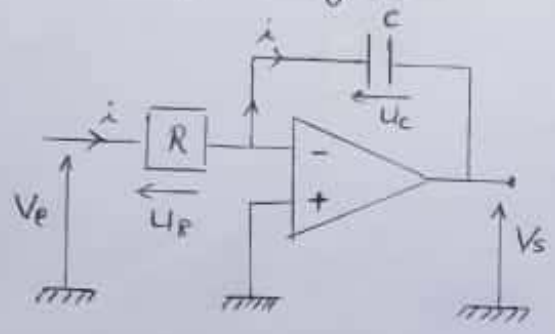
$U_R = V^- - V_S = -V_S = R.i$

Donc : $i = \frac{-V_S}{R} = C.\frac{dU_c}{dt} = C\frac{dV_e}{dt}$

Donc :

$$V_S = -RC.\frac{dV_e}{dt}$$

6. Montage Intégrateur :



$V^+ = V^- = 0.$

$U_R = V_e$ et $U_c = -V_S.$

$$i = \frac{dq}{dt} = C.\frac{dU_c}{dt} = -C.\frac{dV_S}{dt}$$

$$V_e = U_R = Ri = -RC.\frac{dV_S}{dt}$$

Donc :

$$\frac{dV_S}{dt} = \frac{-1}{RC}.V_e$$

$$V_S = \frac{-1}{RC}.\int_0^t V_e\,dt$$

Scanné avec CamScanner

$I_c = \alpha I_E$ avec $I_E = I_B + I_c$

→ Déterminons la relation entre I_c et I_B :

$I_c = \alpha . (I_B + I_c)$

$\Leftrightarrow I_c - \alpha I_c = \alpha I_B$

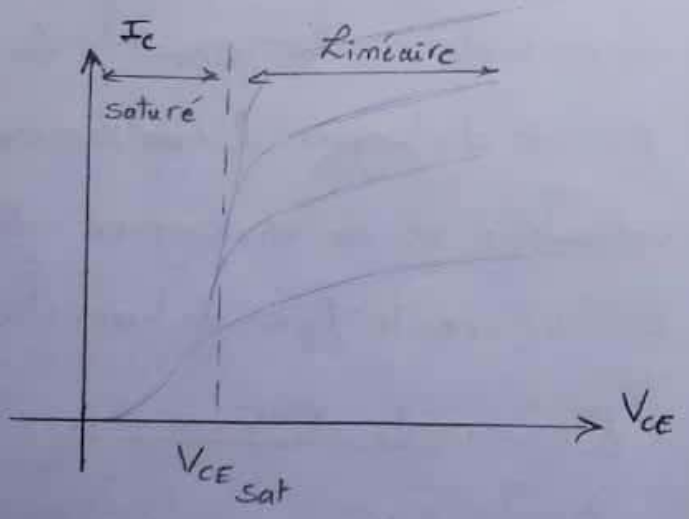
$\Leftrightarrow I_c (1 - \alpha) = \alpha I_B$

$\Leftrightarrow \boxed{I_c = \frac{\alpha}{1-\alpha} I_B}$

avec $\boxed{I_c = \beta I_B}$

Donc : $\boxed{\beta = \frac{\alpha}{1-\alpha}}$

• Caractéristiques du transistor Bipolaire :



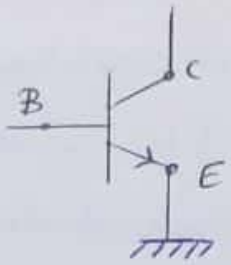
→ Si $I_B = 0$ ⇒ Transistor bloqué (—o o—)

→ Si $I_B > 0$ ⇔ $V_{CE} \approx V_{CE\,sat}$

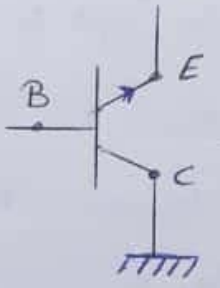
⇔ Saturé (—•—)

• Les 3 types de montage du T

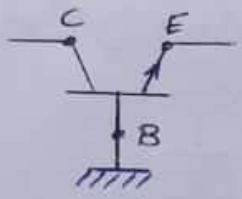
• Emetteur Commun :



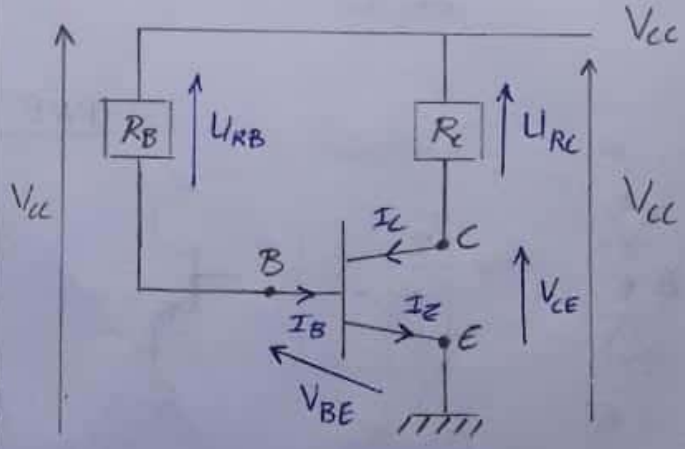
• Collecteur Commun :



• Base Commune :



• Polarisation d'un Transistor :



Scanné avec CamScanner

a :

$$V_{cc} = U_{RC} + V_{CE}$$

et $V_{cc} = U_{RB} + V_{BE}$

$$\Leftrightarrow \begin{cases} V_{cc} = R_c I_c + V_{CE} & (1) \\ V_{cc} = R_B I_B + V_{BE} & (2) \end{cases}$$

avec : $I_c = \beta . I_B \Rightarrow I_B = \frac{I_c}{\beta}$

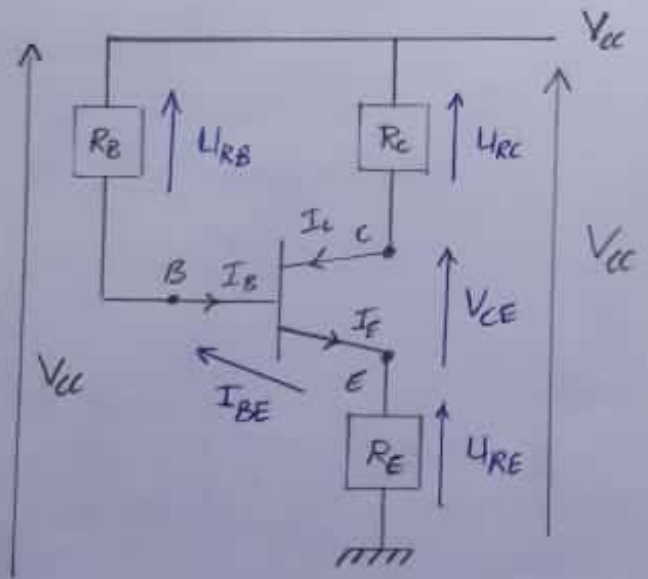
$(1) = (2) \Leftrightarrow R_c I_c + V_{CE} = \frac{R_B I_c}{\beta} + V_{BE}$

$\Leftrightarrow \left(R_c - \frac{R_B}{\beta}\right) I_c = V_{BE} - V_{CE}$

$\Leftrightarrow$ $$I_c = \frac{V_{BE} - V_{CE}}{R_c - \frac{R_B}{\beta}}$$

Droite de charge

- Polarisation par réaction d'émetteur :



$$V_{cc} = U_{Rc} + V_{CE} + U_{RE}$$

$$V_{cc} = R_c I_c + V_{CE} + R_E I_E$$

$I_E = I_c + I_B$ avec $I_c = \beta I_B$

$$I_E = I_c + \frac{I_c}{\beta}$$

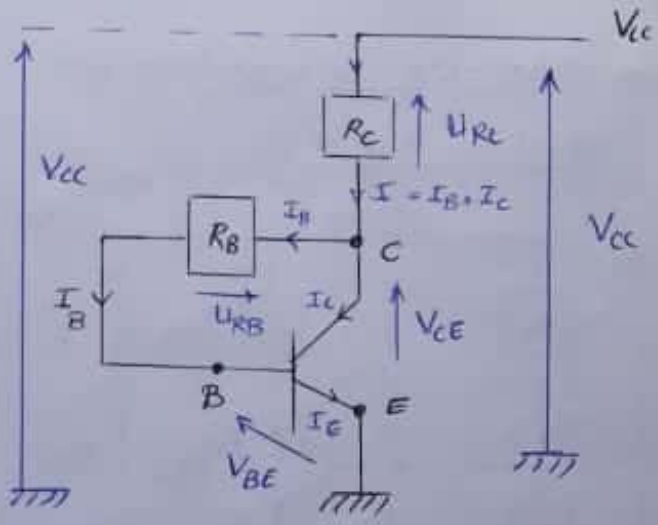
$$\Rightarrow V_{cc} = R_c I_c + R_E \left(I_c + \frac{I_c}{\beta}\right) + V_{CE}$$

$$\Rightarrow V_{cc} - V_{CE} = I_c \left(R_c + R_E\left(1 + \frac{1}{\beta}\right)\right)$$

$$\Rightarrow \boxed{I_c = \frac{V_{cc} - V_{CE}}{R_c + R_E\left(1 + \frac{1}{\beta}\right)}}$$

$\frac{1}{\beta} \ll 1 \Rightarrow$ $$\boxed{I_c = \frac{V_{cc} - V_{CE}}{R_c + R_E}}$$

- Polarisation par réaction du collecteur :



$V_{cc} = U_{Rc} + V_{CE}$ (1er chemin)

$= R_c (I_B + I_c) + V_{CE}$

($I_c = \beta I_B$ avec β très grand

$\Rightarrow I_B + I_c \simeq I_c$)

Scanné avec CamScanner

Donc $V_{CC} = R_C I_C + V_{CE}$

Alors,

$$I_C = \frac{V_{CC} - V_{CE}}{R_C}$$

$V_{CC} = U_{RC} + U_{RB} + V_{BE}$ (2ème chemin)

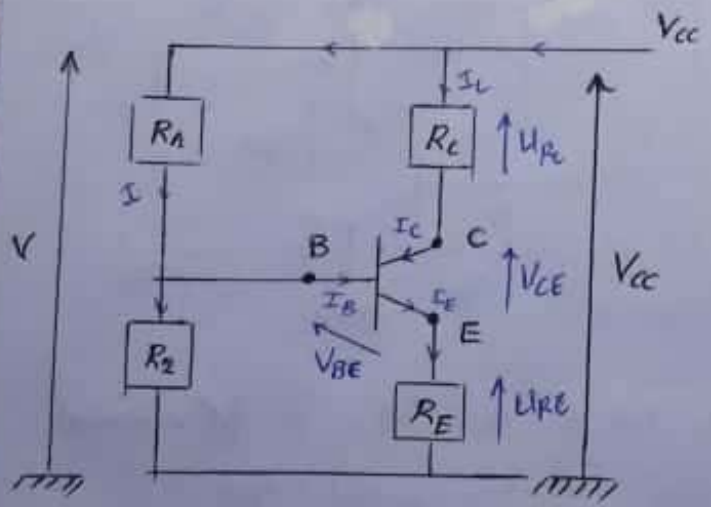
$= R_C(I_C + I_B) + I_B R_B + V_{BE}$

$= R_C I_C + (R_C + R_B) I_B + V_{BE}$

$V_{CC} - V_{BE} = R_C I_C + (R_C + R_B)\frac{I_C}{\beta}$

$V_{CC} - V_{BE} = \left(R_C + \frac{R_C + R_B}{\beta}\right) I_C$

$$I_C = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_C + \frac{R_C + R_B}{\beta}}$$

Si $R_C + R_B \ll B \Rightarrow I_C = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_C}$

- <u>Polarisation par pont base et réaction sur E :</u>